

## 木材切削における被削材面に現れる節の切削 に関する基礎的研究(II)\*

木材の三次元縦切削における切削力の変化に及ぼす  
被削材面に現れる丸小節の影響

杉 山 滋

長崎大学教育学部工業技術教室

(平成3年2月28日受理)

## Fundamental Studies on Cutting of the Knot on the Cutting Surface of the Workpiece in Wood Cutting (II)\*

Effects of the Small Round Knot on the Cutting Surface of the Workpiece  
upon the Cutting Force in Oblique Cutting of Wood Parallel to the Grain

Shigeru SUGIYAMA

Department of Technology, Faculty of Education,

Nagasaki University, Nagasaki 852

(Received Feb. 28, 1991)

### Abstract

In the wood cutting process with a knife equipped with a chip breaker for making the smooth workpiece-surface, it is important to obtain the optimum conditions of sharpness angle of the chip breaker ( $\beta_B$ ), the distance between the knife edge and the chip breaker edge ( $l_{k.B}$ ) and the inclination angle of the knife ( $i_k$ ) and to investigate the changes of the cutting-force components acting on the face of a knife equipped with a chip breaker with  $\beta_B$ ,  $l_{k.B}$ ,  $i_k$ , the grain angle of the workpiece ( $\varphi_1$ ) and the knot on the cutting surface of the workpiece. In order to obtain quantitative information on them, the basic oblique cutting tests, in which the materials used were air-dried wood boards of hinoki (*Chamaecyparis obtusa* ENDLICHER) and sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don), were performed using the knife as shown in Figs. 2~3 and the same

---

\* 本研究を「木材の切削機構および切削抵抗の力学的解析に関する基礎的研究(その12) Fundamental Studies on Analysis of Cutting Mechanics and Cutting Force in Wood Cutting, XII.」とする。上記の研究(その11)および標記の研究(I)は、長崎大学教育学部自然科学研究報告 第45号 79~94 (1991)に掲載。

experimental apparatus as used in the previous reports. The test specimens, which were fixed to the experimental apparatus equipped with a three-dimensional elastic-ring dynamometer, were cut during the feeding of the knife equipped with a chip breaker (Figs. 3~6). The components and the resultant of the cutting force were measured. Using these results, the effects of  $i_k$  and the workpiece conditions ( $\varphi_1$  and the knot) on the cutting-force components and the resultant force were clarified (Figs. 7(a)~8(b)). Characteristics of the cutting of the knot on the workpiece surface are discussed, comparing the cutting of the workpiece without a knot.

## 1. 緒 言

木材加工部門では、いろいろな加工工程があるが、その殆どの工程において刃物による加工、即ち切削加工が必要不可欠となるから、刃物による切削性が問題となってくる。加工材料は木材であるから、節を含む場合が殆どであると考えられる。勿論、木取りの仕方によっては無節材の場合もあり得るが、一見して無節材のように見える場合でも、切削の進行に伴って稔れ節が現れ、節の切削を余儀なくされる場合もあるから、いずれの加工工程においても節の切削を絶えず考慮に入れた切削加工を考えておかねばならない。

木材中の節の存在は、刃物の切れ刃の損耗（摩耗および欠損）や切削性の不良などが問題となる。とくに、節の種類、形状、寸法、材質、存在場所、量などは切削性の良否に直接係わるが、このような節そのものの存在と同時に、節の周辺の三次元的な繊維走向の乱れ、即ち節ばかまの存在も、切削性に大きな影響を及ぼす。被削材中に包含されている節の切削状態は1回毎の切削で変化するばかりでなく、その周辺に存在する節ばかまの切削状態も変化する。刃物の切れ刃線切削幅に相当する被削材切削幅あたりの切削では、節の切削や節ばかまの切削と同時に、無節材部の切削も行われるから、節の切削を考える場合には、これら3つの部位の切削現象の変化を詳細に検討することが、この種の研究の基礎として必要なことである。

本研究では、木材表面を平滑に仕上げるための切削機械、即ち超仕上鉋盤（スーパーサーフェイサ）による木材切削を対象として、被削材中に包含された節の切削、とくに被削材切削面に現れた丸小節の横断面（木口）切削の検討を行う。即ち、裏金を装着した鉋刃を用い、種々のバイアス角の設定のもとでの三次元切削実験を行い、切削力の変化を測定した。ここでは、主として、節部の切削力の大きさやバイアス角の変化に伴い切削力の変化の傾向、および無節材部と比較しての節部の切削力の大きさの変化、などを明らかにする。

## 2. 実 験 方 法

### 2.1 三次元切削とそれの切削実験装置

裏金を装着した鉋刃による三次元切削の模式図を、**図1**に示す。被削材の切削面上において、被削材への鉋刃の送り方向（即ち、切削方向）に平行方向（Y軸方向）に対する垂直方向（X軸方向）を基準として、鉋刃の切れ刃線を平行させて切削する場合を二次元切

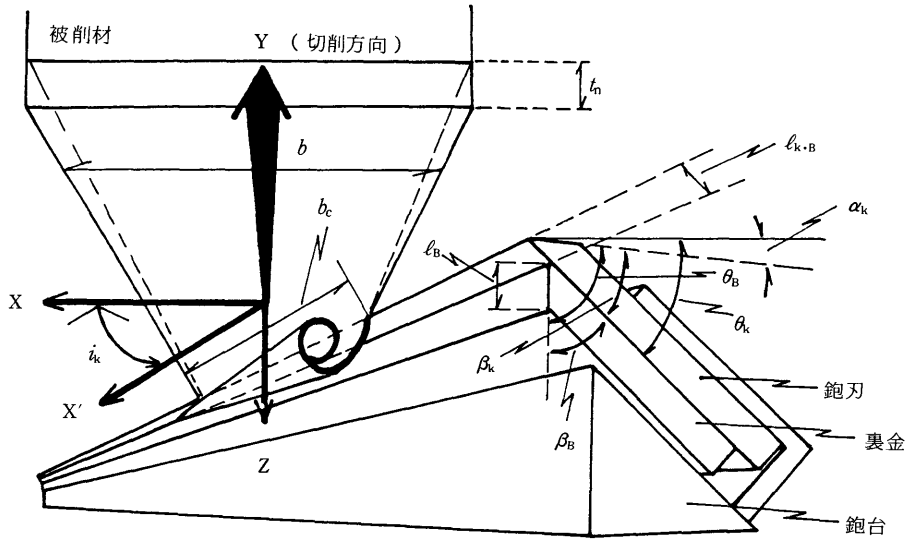


図1 裏金を装着した鉋刃による三次元切削の模式図

XおよびY: 切削面上における切削方向に垂直および平行方向; Z: 切削面に垂直方向; X': 鉋刃切れ刃線に平行方向;  $\alpha_k$ および $\beta_k$ : 鉋刃垂直逃げ角および鉋刃垂直刃先角;  $\theta_k (= \alpha_k + \beta_k)$ : 鉋刃垂直切削角;  $\beta_B$ および $\theta_B$ : 裏金垂直先端角および裏金垂直作用角;  $l_B$ および $l_{k,B}$ : 裏金垂直作用長さおよび裏金垂直設置距離;  $b$ および $b_c$ : 被削材切削幅および鉋刃切れ刃線切削幅;  $i_k$ : パイアス角

削といい、ある角度だけ傾斜させて切削する場合を三次元切削という。鉋刃切れ刃線をX軸方向から傾斜させる角度、即ちX軸方向と鉋刃切れ刃線方向に平行方向(X'軸方向)との交差角度を鉋刃のバイアス角 $i_k$ という。

被削材切削幅 $b$ の被削材を鉋刃で切削する場合、鉋刃切れ刃線切削幅 $b_c$ は、二次元切削の場合( $i_k = 0^\circ$ の場合)には $b_c = b$ となるが、三次元切削の場合( $0^\circ < i_k < 90^\circ$ の場合)には $i_k$ の変化に伴って変化する。即ち、 $b_c$ は、

$$b_c = b / \cos i_k \tag{1}$$

で表される。

切れ刃線および切れ刃すくい面に垂直な切れ刃断面における鉋刃の刃先角を鉋刃垂直刃先角というが、その刃先角 $\beta_k$ をもつ鉋刃を鉋台に逃げ角 $\alpha_k$ (即ち、鉋刃切削角が $\theta_k$ )となるように設定した場合( $\alpha_k$ および $\theta_k$ は、切れ刃線および切れ刃逃げ面・すくい面に垂直な切れ刃断面を基準とした角度であるから、それらは垂直逃げ角および垂直切削角と呼ばれている)、 $i_k$ の設定により切削中に実際に作用する鉋刃の $\beta_k$ 、 $\alpha_k$ および $\theta_k$ に変化が生じる。 $i_k$ の設定の変化に伴う切削中の $\beta_k$ 、 $\alpha_k$ および $\theta_k$ の変化を速度刃先角 $\beta'_k$ 、速度逃げ角 $\alpha'_k$ および速度切削角 $\theta'_k$ というが、それらは次式で表される。

$$\beta'_k = \sin^{-1}(\sin \beta_k \cos i_k) \tag{2}$$

$$\alpha'_k = \sin^{-1}(\sin \alpha_k \cos i_k) \tag{3}$$

$$\theta'_k = \sin^{-1}(\sin \theta_k \cos i_k) \tag{4}$$

鉋台に鉋刃を設定する際に、先端角 $\beta_B$ および作用長さ $l_B$ をもつ裏金を鉋刃刃先から

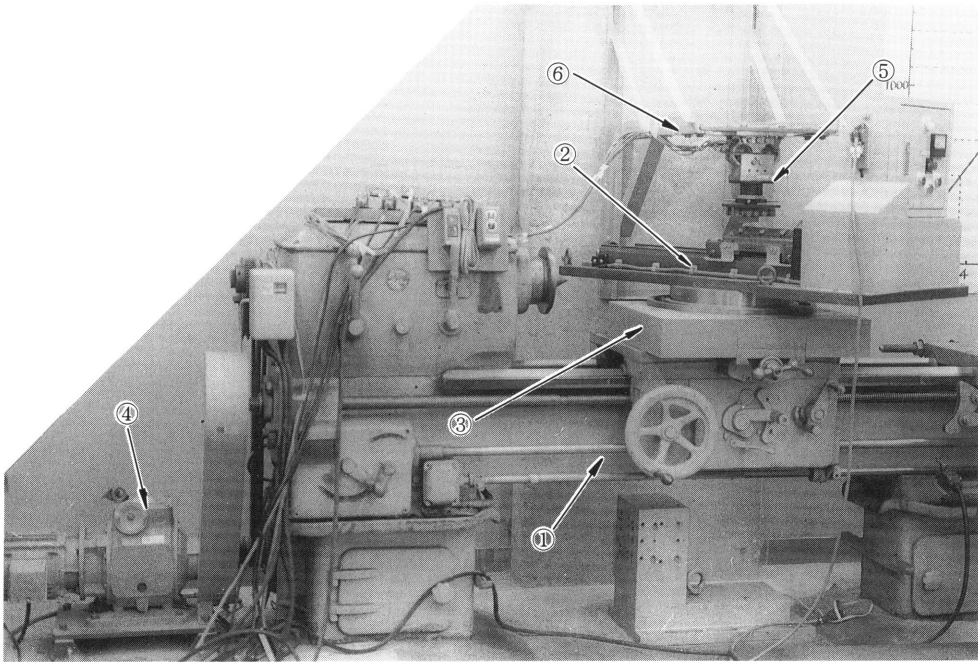


図 2 三次元切削実験装置の概要

①：切削実験装置本体；②：鉋台および鉋刃切れ刃線方向への鉋台移動装置；③：鉋刃切削方向への鉋台送り装置；④：鉋台送り装置移動のための無段変速モータ；⑤：試験片固定装置，鉋刃切込量設定装置および切削力 3 分力測定装置；⑥：⑤を固定するために別個に装備したフレーム

$l_{k \cdot B}$  だけ離れた鉋刃すくい面上に装着すると ( $\beta_B$  および  $l_B$  は，裏金先端線および裏金作用面に垂直な裏金断面を基準とした角度および長さであるから， $\beta_B$  を裏金垂直先端角， $l_B$  を裏金垂直作用長さという。また， $l_{k \cdot B}$  は鉋刃切れ刃すくい面上における鉋刃切れ刃線と裏金先端線との間の距離であるから， $l_{k \cdot B}$  を裏金垂直設置距離という)， $i_k$  の設定の変化に伴い切削中の  $\beta_B$ ，裏金垂直作用角  $\theta_B (= \theta_k + \beta_B)$ ， $l_B$  および  $l_{k \cdot B}$  は変化する。それらの変化を  $\beta'_B$  (裏金速度先端角)， $\theta'_B$  (裏金速度作用角)， $l'_B$  (裏金傾斜作用長さ) および  $l'_{k \cdot B}$  (裏金傾斜設置距離) とすると， $\beta'_B$ ， $\theta'_B$ ， $l'_B$  および  $l'_{k \cdot B}$  は次式で表される。

$$\beta'_B = \sin^{-1}(\sin \beta_B \cos i_k) \quad (5)$$

$$\theta'_B = \sin^{-1}(\sin \theta_B \cos i_k) \quad (6)$$

$$l'_B = l_B / \cos i_k \quad (7)$$

$$l'_{k \cdot B} = l_{k \cdot B} / \cos i_k \quad (8)$$

このような三次元切削を行うための切削実験装置を，図 2 に示す。同図より明らかなように，切削実験装置は，切削実験装置本体①，鉋台および鉋刃切れ刃線方向への鉋台移動装置②，鉋刃切削方向への鉋台送り装置③とから構成されている。切削実験装置本体①に固定された鉋台送り装置③は，無段変速モータ④により試験片に向かって所定の切削速度で移動する。試験片は，切削実験装置本体とは別個に装備されたフレーム⑥に固定された切削力 3 分力測定装置，切込量設定装置および試験片固定治具などによって固定されている。

鉋刃は、鉋台送り装置に固定された鉋台に、裏金とともに固定されている。

切削実験に先立ち、鉋刃と裏金をつぎの要領で鉋台に取付けた。まず最初に、鉋刃垂直刃先角  $\beta_k$  をもつ鉋刃を、所定の鉋刃垂直逃げ角  $\alpha_k$  になるように、即ち所定の鉋刃垂直切削角  $\theta_k$  になるように、微調整治具を駆使しながら鉋刃切れ刃線長さにわたって鉋刃刃先が水平となるように鉋台に固定した。つづいて、垂直先端角  $\beta_B$  および垂直作用長さ  $l_B$  をもつ裏金を、裏金先端線が水平となるように、裏金垂直設置距離  $l_{k,B}$  が所定の大きさになるように、しかも裏金先端線長さにわたり一定の大きさの  $l_{k,B}$  になるように、微調整治具を用いて調整を繰返して、鉋台と鉋刃に正しく裏金を取付けた。

つぎに、鉋台に取付けられた鉋刃に所定のバイアス角  $i_k$  を設定する。 $i_k$  の設定は、鉋台送り装置の送り方向に対する垂直方向を基準として、その方向と鉋刃切れ刃線方向とが設定どおりの  $i_k$  になるように鉋台を送り装置上で回転させることによって行われる。試験片固定治具により固定された試験片に向って、 $i_k$  を設定した鉋刃を送り込むことによって三次元切削が行われる。

切削実験に先立ち、試験片の表面に切削基準面を作成することが必要となる。即ち、本

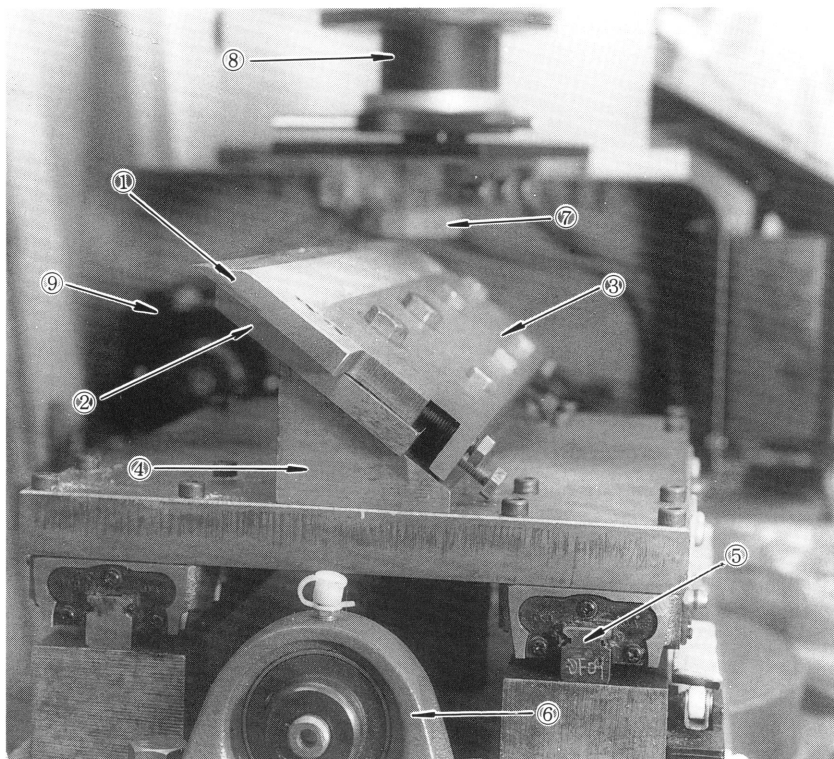


図 3(a) 鉋刃切れ刃線方向移動装置と鉋台

①：鉋刃；②：裏金；③：裏金の鉋刃への取付け調整治具；④：鉋台；⑤：鉋刃切れ刃線方向への鉋台移動のためのリニアウエイ；⑥：鉋刃切れ刃線方向への鉋台移動装置に組み入れられたネジ送り用親ネジの軸受；⑦：試験片；⑧：切込量設定装置；⑨：鉋刃切れ刃線方向への鉋台移動のためのモータ

研究では、試験片は節を含むから、その切削にあたっては切削基準面を作成する必要がある。有節材や逆目木材では、切削基準面の作成が難しい（通常の切削条件では、切削面に逆目ばれなどの損傷を与える場合が多い）。切削基準面の作成が不十分であったり、また、不良な切削基準面の試験片などが混入していると、設定した切込量どおりの切削実験を行い得ないのみならず、切削現象そのものも違った切削を余儀なくされるから、実験結果を的確に判断することが難しくなる。そこで本研究では、切削基準面を作成するためのならし切削の条件を、つぎのように工夫した。鉋刃に  $\alpha_k=60^\circ$  を設定し、鉋刃切れ刃線方向移動装置（図2における②）により鉋刃切れ刃線方向に引き切り速度を与えながら鉋刃を試験片に向かって一定の切削速度で送り込む、いわゆる引き切り切削<sup>1)</sup>（引き切り速度は、切削速度の4倍を与えた）によって、節をもつ試験片の表面を微小切込量（おおよそ0.03~0.05 mmの切込量）でならし切削を繰り返して、切削基準面を作成した。

試験片の表面を一定のあらさの切削基準面に作成したのち、微小切込量設定装置により試験片に所定の切込量  $t_0$  を与えたのち、所定の切削速度で鉋台を試験片に向かって移動させることによって、有節材の三次元切削を行った。

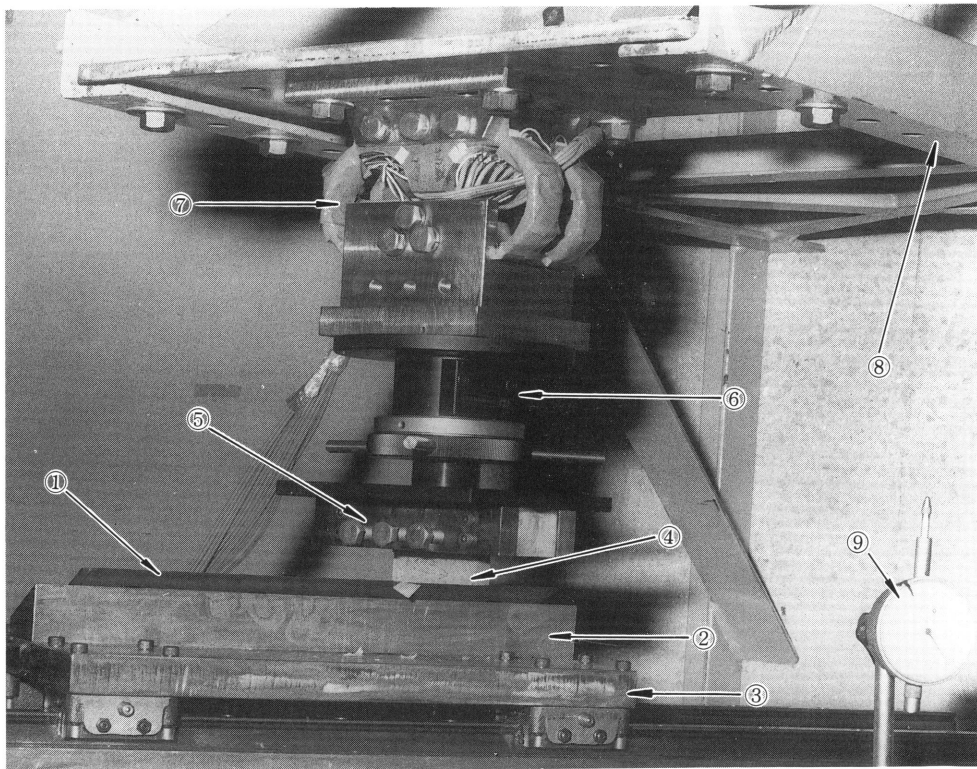


図3(b) 鉋台、切込量設定装置および切削力3分力測定装置

- ①：鉋刃；②：鉋台；③：鉋刃切れ刃線方向への鉋台移動装置；④：試験片；⑤：試験片固定装置；⑥：切込量設定装置；⑦：切削力3分力測定装置；⑧：④~⑥を固定するために、切削実験装置本体とは別個に装備されたフレーム；⑨：切込量の微小設定のために、併用した1/100 mm精度のダイヤルゲージ

## 2.2 切削力3分力の測定

本研究では、裏金を装着した鉋刃による試験片の三次元切削により、試験片に加えられる切削力の3分力を測定する。図2および図3(b)に示したように、試験片は切削力3分力測定装置に固定されているから、三次元切削中に試験片に加えられる切削力 $R$ は、X軸方向、Y軸方向およびZ軸方向の3方向に分解されて、それぞれが別々に測定される。図1に示すような3軸方向、即ち切削面上における切削方向に平行方向(Y軸方向)とそれに垂直方向(X軸方向)および切削面に垂直方向(Z軸方向)に作用する切削力 $R$ の3分力を、それぞれ $F_Y$ (Y軸方向分力で主分力ともいう)、 $F_X$ (X軸方向分力で横分力ともいう)および $F_Z$ (Z軸方向分力で背分力ともいう)とする。これら3分力を用いると、切削力 $R$ は、次式で表される。

$$R = (F_X^2 + F_Y^2 + F_Z^2)^{1/2} \quad (9)$$

切削力3分力測定装置は、八角形リング型の弾性体にストレインゲージを貼付した構造で、筆者により試作されたものである(同装置の構造などの詳細は、既報<sup>2), 3)</sup>参照)。同装置により、記録紙に描かれた切削力分力波形から切削力分力を求めた。分力を求めるにあたり、後述するように、切削長さにわたって現れた切削力分力波形のうち、一定の波形測定範囲のなかに現れた波形の極大値を全て測定し、その平均値を求め、切れ刃線切削幅 $b_c$ で除して、単位切れ刃線切削幅当りの切削力分力および合力をそれぞれ求めた。

## 2.3 実験条件

本研究では、裏金を装着した鉋刃による三次元切削を行うが、その実験条件を表1にまとめて示した。供試鉋刃は、超仕上鉋盤に用いられている鉋刃(兼房刃物工業(株)製)を用いた。同鉋刃は、直刃状の鍛接鉋刃であり、刃部の材質は高速度鋼SKH3、切れ刃線長さは355mmであった。なお、鉋刃の研磨は、その都度、製造元へ依頼した(鉋刃刃先は、損耗の全くない状態で供試した)。

表1に示すように、バイアス角 $i_k$ を $0^\circ$ (二次元切削の場合)から $60^\circ$ までの範囲で $15^\circ$ 間隔おきに変化させるから、このような $i_k$ の変化に伴い鉋刃の垂直刃先角 $\beta_k$ 、垂直逃げ角 $\alpha_k$ 、垂直切削角 $\theta_k (= \alpha_k + \beta_k)$ 、裏金の垂直先端角 $\beta_B$ 、垂直作用角 $\theta_B (= \theta_k + \beta_B)$ 、垂直設置距離 $l_{k \cdot B}$ 、垂直作用長さ $l_B$ のそれぞれの大きさが変化する。実験条件の $i_k$ の変化( $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ および $60^\circ$ )に相当するそれらの変化のうち、 $\beta'_k$ (鉋刃速度刃先角)、 $\theta'_k$ (鉋刃速度切削角)、 $\beta'_B$ (裏金速度先端角)、 $\theta'_B$ (裏金速度作用角)、 $l'_{k \cdot B}$ (裏金傾斜設置距離)および $l'_B$ (裏金傾斜作用長さ)を、表2に示した。

表1 実験条件

鉋刃垂直逃げ角 $\alpha_k$	$3^\circ$
鉋刃垂直刃先角 $\beta_k$	$32^\circ$
鉋刃垂直切削角 $\theta_k (= \alpha_k + \beta_k)$	$35^\circ$
裏金垂直先端角 $\beta_B$	$55^\circ$
裏金垂直作用角 $\theta_B (= \theta_k + \beta_B)$	$90^\circ$
裏金垂直設置距離 $l_{k \cdot B}$	0.35 mm
裏金垂直作用長さ $l_B$	9.00 mm
バイアス角 $i_k$	$0^\circ \sim 60^\circ$ (5段階に変化)
鉋刃切込量 $h$	0.10 mm
鉋台刃口押え	作用なし
鉋刃切削速度 $V_w$	3.0 mm/sec
実験繰返し数 $R_c$	3回

表2 バイアス角  $i_k$  の変化に伴う鉋刃および裏金の設定諸角度 ( $\beta_k$ ,  $\theta_k$ ,  $\beta_b$  および  $\theta_b$ ) および設定長さ ( $l_{k,b}$  および  $l_b$ ) の変化

	バイアス角 $i_k$ (°) の変化				
	0°	15°	30°	45°	60°
鉋刃垂直刃先角 $\beta_k$ の変化 $\beta'_k$ (鉋刃速度刃先角) (°)	32.0 (= $\beta_k$ )	30.8	27.3	22.0	15.4
鉋刃垂直切削角 $\theta_k$ の変化 $\theta'_k$ (鉋刃速度切削角) (°)	35.0 (= $\theta_k$ )	33.6	29.8	23.9	16.7
裏金垂直先端角 $\beta_b$ の変化 $\beta'_b$ (裏金速度先端角) (°)	55.0 (= $\beta_b$ )	52.3	45.2	35.4	24.2
裏金垂直作用角 $\theta_b$ の変化 $\theta'_b$ (裏金速度作用角) (°)	90.0 (= $\theta_b$ )	75.0	60.0	45.0	30.0
裏金垂直設置距離 $l_{k,b}$ の変化 $l'_{k,b}$ (裏金傾斜設置距離) (mm)	0.35 (= $l_{k,b}$ )	0.36	0.40	0.50	0.70
裏金垂直作用長さ $l_b$ の変化 $l'_b$ (裏金傾斜作用長さ) (mm)	9.00 (= $l_b$ )	9.32	10.40	12.73	18.00

表3 供試木材 (有節の角材)

—主として、無節材部からの測定値—

供試木材 (角材)	スギ		ヒノキ
	A	B	H
容積重 $r_u$ (g/cm <sup>3</sup> )	0.36	0.42	0.57
含水率 $u$ (%)	12.0	12.2	11.5
平均年輪幅 $R_a$ (mm)	6.3	5.0	4.2
晩材率 $L$ (%)	32.0	36.0	38.0
繊維傾斜角 $\varphi_1$ (°)	2.0	2.0	4.5
木理斜交角 $\varphi_2$ (°)	0~1.5 (平行~順目角度)	0~2.5 (平行~順目角度)	0~4.0 (平行~順目角度)
年輪接触角 $\varphi_3$ (°)	0	0	0
節の繊維走向傾斜角 $\alpha$ (°)	-5~-10 (逆目角度)	-5~-10 (逆目角度)	-5~-10 (逆目角度)
節の繊維走向傾斜角 $\xi$ (°)	0	0	0

(注) 節の繊維走向傾斜角は、切削面に垂直方向に走向する節の切削 (即ち、節の木口切削) を基準として、その節の走向と、今回、切削の対象としている節の走向との交差角度を意味するが、そのうち、切削方向に平行な前後方向の傾斜角を  $\alpha$  とし、切削方向に垂直な左右方向の傾斜角を  $\xi$  とする。

## 2.4 供試材

供試材として、気乾状態のスギ角材2本 (それらをスギAおよびスギBとして区別して表示した) およびヒノキ角材1本 (それをヒノキHとして表示した) を用いた。いずれの角材も木口面寸法が50×100 mmで材長は4,000 mmであり、二方柱木取り (広い材面の方が正板目面) となっている。それらの角材の材質・形状などを測定 (主として、無節材部の小片を採取して測定) した結果を、表3にとりまとめた。それらの角材の板目面 (木表側) を切削面とし、同面に現れる丸小節の横断面を含む試験片を作成した。図4に示すように、1個の試験片につき丸小節1個を試験片切削長さのほぼ中央に含み、節の直径  $D$  を被削材切削幅とするような試験片を1つひとつ手挽鋸 (両歯鋸) と叩き鑿 (追入れ鑿) を用いて



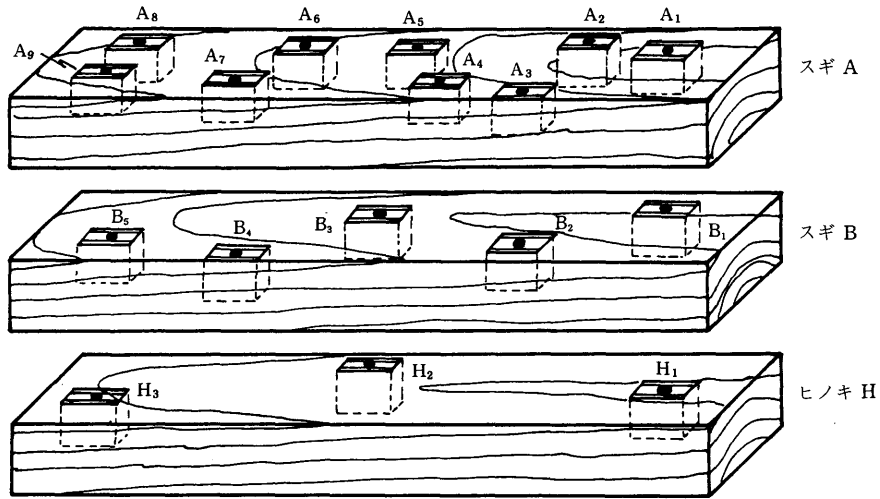


図4 供試木材と試験片の採取

スギ A、スギ B およびヒノキ H は、いずれも木口面寸法  $50 \times 100$  mm、長さ  $4,000$  mm の二方  
 桁木取り（広い材面の方が板目面）の角材で、板目面木表側に節の垂直断面（木口面）が  
 現れている。

丁寧に作成した。なお、角材中に包含されている丸小節は、いずれの角材の場合も死節<sup>しにぶし</sup>  
 である（試験片の切削面に包含された丸小節の横断面には、いずれの場合にも若干の乾燥に  
 よる割れが生じていた）。

表 3 に示したように、節の繊維走向傾斜角  $\alpha$ （切削方向に平行方向の傾斜角）は、いず  
 れの角材の場合も  $-5^\circ \sim -10^\circ$ （逆目角度）であり、また、節の繊維走向傾斜角  $\xi$ （切削方  
 向に垂直方向の傾斜角）は、いずれの角材の場合も  $0^\circ$  であった。したがって、本研究におけ  
 る節の切削は、前報における節の切削の分類、即ち  $\varphi'$ （鉋刃の切れ刃線に対する節の繊維  
 走向交差角）および  $\phi'$ （鉋刃の切削方向に対する節の繊維走向交差角）を用いた節の切削  
 ( $\varphi' - \phi'$  切削) の表示法<sup>4)</sup> を用いると、 $\alpha = -5^\circ \sim -10^\circ$ 、 $\xi = 0^\circ$  であるから  $i_k$  が  $0^\circ \sim 60^\circ$  の  
 範囲で変化しても  $\varphi'$  は  $90^\circ$  であるが、 $\phi'$  は  $i_k$  の大きさにより  $90^\circ \sim 81.4^\circ$  の範囲で変化す  
 る。例として、具体的な数字をあてはめて示せば、 $i_k = 0^\circ$  の場合にはいずれの材の場合も  
 $90^\circ - 90^\circ$  切削であるが、 $i_k = 60^\circ$  の場合には試験片における  $\alpha$  の変化により  $90^\circ - 85.5^\circ$  切削か  
 ら  $90^\circ - 81.4^\circ$  切削までの変化があり得る。

スギ角材 A および B、ヒノキ角材から試験片を採取するにあたり、それら角材の切削面  
 に現れた丸小節（それらの殆どは死節<sup>しにぶし</sup>であったが、抜節<sup>ぬけぶし</sup>はなかった）のうち、節の直径  $D$   
 が  $6.0 \sim 12.5$  mm の範囲に入る節のみを切削実験の対象とした。そのような  $D$  をもつ試験片  
 を、実験条件の変化の数や実験繰返し数に相当する数だけ採取し、切削実験に供した。切  
 削実験終了後に、試験片の切削長さにわたって現れている無節材部および節ばかまを削除  
 し、節のみの容積重  $\gamma'_0$  を測定し易い小片に作成した。小片により  $\gamma'_0$  を測定し、 $\gamma'_0$  が  
 $0.90 \sim 1.15$  g/cm<sup>3</sup> の範囲に入る場合のみ、その  $\gamma'_0$  をもつ試験片からの切削実験結果（即ち、  
 切削力の測定値）をデータとして採用し、 $\gamma'_0$  が上記の範囲に入らない場合には、そのよう  
 な  $\gamma'_0$  をもつ試験片からの切削実験結果はデータから除外した。除外に伴い不足した実験値

表4 試験片の中の節の性状  
—角材中の節からの測定値—

試験片 角材種類 No.	スギ A									スギ B					ヒノキ		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
節の平均容積重 $r'_i$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.00	1.10	1.02	0.97	1.16	1.07	0.98	0.94	1.00	0.97	1.02	1.00	1.01	0.99	1.04	1.02	1.06
節の直径 $D$ (mm)	10.95	10.85	10.00	12.45	12.25	6.70	7.20	8.60	7.40	9.80	8.75	4.50	5.25	5.25	8.75	6.20	6.00

- (注) 1. 節の容積重の測定は、切削実験終了後に行った。実験終了後の試験片に存在する節を、横断面2.0×2.0 mm、長さ20 mmの直方体に切断し、これを用いて算出される値を、その試験片における平均容積重  $r'_i$  とした。
2. バイアス角  $i_k$  を変化させる切削実験では、試験片中に現れる一つひとつの節の内部の詳細な容積重分布を調べる必要があるが、本実験における節の切削力の測定方法から考えて、上記の(注)の1に示した測定方法でよいと判断した。
3.  $D=6.0\sim 12.5$  mmの範囲に入るもののみを切削実験の対象とし、切削実験終了後に測定した  $r'_i$  が  $r'_i=0.90\sim 1.15$  g/cm<sup>3</sup>の範囲に入る試験片からの切削力測定値をデータとして採用し、 $r'_i$  が規定の範囲からはずれる試験片からの切削力測定値はデータとして除外した。

は、新たな試験片を作成して実験を繰返し、データの追加補充を行った。

上記のような方法で、切削力の測定を対象とした試験片における節の性状を、表4にとりまとめて示した。

試験片は、その被削材切削幅を  $b$  とするが、 $b$  は節の直径  $D$  にほぼ等しくなるように、1つひとつの試験片で異なった。試験片の形状を図5に示した。同図に示すように、切削幅  $b$  は、試験片幅と異なり幅狭で、切削面は試験片上部で凸状となっている(板材の横矧ぎに

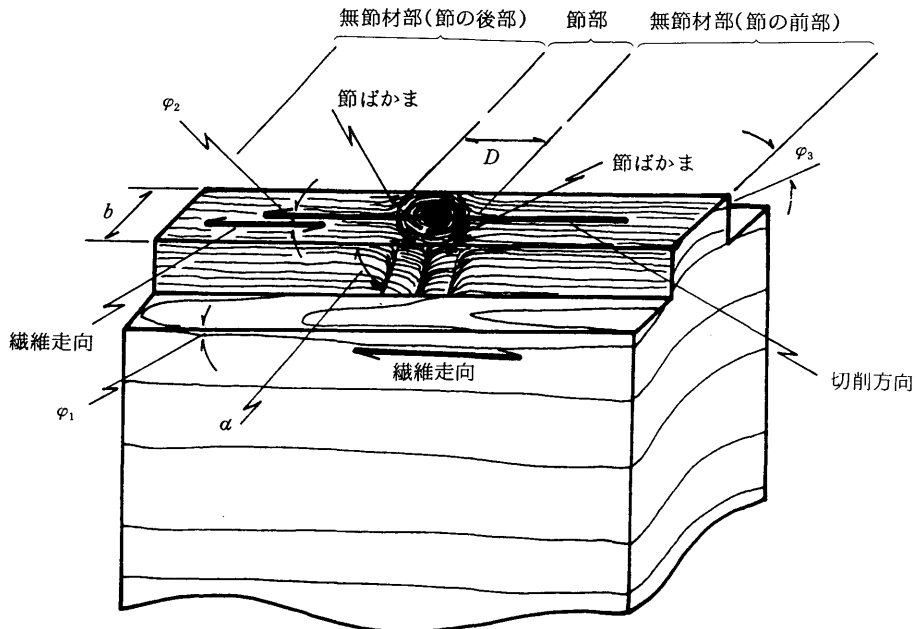


図5 試験片の形状と木理および節の走向

$b$ : 被削材切削幅;  $\varphi_1$ : 繊維傾斜角;  $\varphi_2$ : 木理斜交角;  $\varphi_3$ : 年輪接触角;  $\alpha$ : 節の繊維走向傾斜角(表3参照);  $D$ : 節の直径

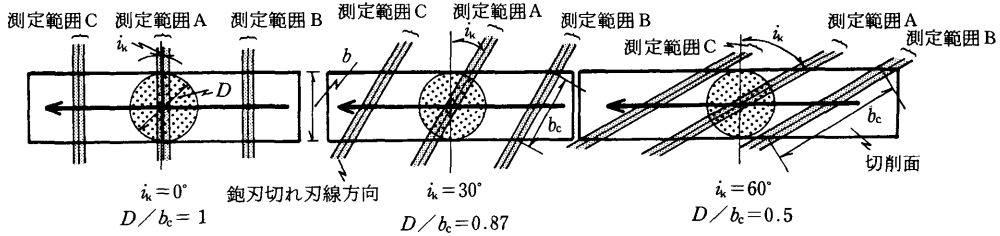


図6 試験片の切削面上における節と切削力の測定範囲

測定範囲A：節部の切削力測定範囲；測定範囲B：無節材部（節部の切削直前）の切削力測定範囲；  
測定範囲C：無節材部（節部の切削直後）の切削力測定範囲； $D$ ：節の直径； $i_k$ ：パイアス角； $b$ ：  
被削材切削幅； $b_c$ ：切れ刃線切削幅； $D/b_c (= \cos i_k)$ ：節の占有率；切削力の測定範囲の大きさは、  
いずれの試験片においても3mmとした。

おける本核<sup>まね</sup>矧ぎにおける形状と類似している)。節は、切削面に対して若干の傾斜走向しているが、節の横断面（木口）切削の部類に属する。節は、切削面に傾斜走向しているから、切削方向が絶えず節の繊維走向に対して逆目方向になるように注意を払って実験を行った。

図5における試験片の切削面の形状や節の存在位置からも明らかなように、切削実験では切削面の切削幅 $b$ を鉋刃切れ刃線長さ $b_c$ でもって切削長さに相当する分だけ順次切削されるが、切れ刃線長さおよび切削面切削位置に相当する切削力が順次記録される。したがって、試験片の切削長さに相当する切削力の測定には、節と節ばかま、および無節材部の切削力測定が記録されることになる。本研究では、試験片の切削長さにおける切削力の測定にあたっては、主として3つの測定範囲に分けて行うこととした。即ち、試験片の中央部に位置する節の切削前の無節材部、節部、および節の切削ののちの無節材部に分けて切削力を測定した。 $i_k$ の設定の変化に伴う切削面上の鉋刃切れ刃線の位置および上記のような切削力の3つの測定範囲を図解して、図6に示した。

節の切削の前後の無節材部では、切れ刃線の一部が節ばかまの切削範囲に入らないような測定位置を予め決定し、その位置での切削力を測定の対象とした。節部では、 $i_k=0^\circ$ の場合（二次元切削の場合）に、 $b=b_c=D$ であるが、切削力の測定範囲が節中央部からその前後の1.5mmの範囲内であり、その範囲内の切削力の測定を行うから、測定範囲に現れる切削力の波形全てが節の $D$ に基づくものではなく、若干の節ばかま部分の切削力も混入し、それが複合されて切削力波形として記録されることになる。 $i_k$ の設定の増加に伴い、節部における切削力の測定範囲には、切れ刃線の大きな傾斜に伴い節部の直径方向の切削力のほかに、節ばかまおよび無節材部の切削力も加わり、記録紙上には、それらの複合した切削力が記録されることになる。図5より明らかなように、このような傾向は $i_k$ の大きいほど著しくなる。

鉋刃の切れ刃線切削幅 $b_c$ における節そのものの切削に係わる幅の比率、即ち $b_c$ あたりの節の占有率 $D/b_c$ は、

$$D/b_c = \cos i_k \quad (10)$$

で表される。 $i_k=0^\circ$ の場合には、 $D/b_c=1$ であるから、前記したように、 $b_c$ のほぼ全部、即ちほぼ100%に近い状態で節の切削力が記録される。しかし、本研究で最も大きい $i_k$ の設定の場合（ $i_k=60^\circ$ の場合）には、 $D/b_c=0.5$ 、即ち $b_c$ の半分のみが節の切削力であり、

他の半分は節の両側に位置する節ばかまと無節材部の切削力が含まれることになる。

このような試験片形状およびこのような切削力の測定方法により、節の切削を行い、節の切削力の大きさ、 $i_k$  の設定の変化に伴う節の切削力の変化の傾向、無節材部の切削力の大きさに対する節の切削力の大きさの比、などを測定し、上記のような  $i_k$  の設定の変化に伴う切削力の測定の違いを考慮に入れての節の切削を検討してみる。

### 3. 実験結果および考察

節を含む試験片を用いて、裏金を装着した鉋刃による三次元切削を行い、切削力の3分

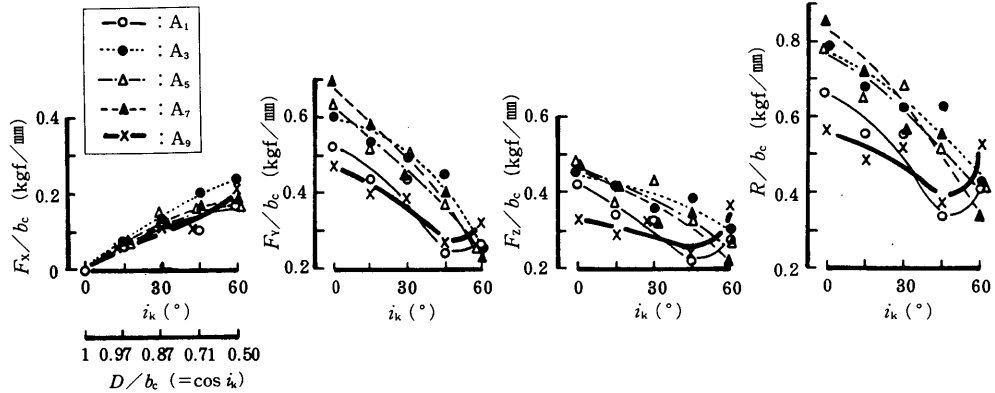


図7(a) 同一角材内に現れる種々の丸小節の切削力測定例

—バイアス角  $i_k$  の変化に伴うスギ角材 (スギA) に現れる節部の切削力の変動—

$R/b_c$ : 鉋刃切れ刃線切削幅  $b_c$ あたりの切削力(合力);  $F_x/b_c, F_y/b_c$ および  $F_z/b_c$ :  $R/b_c$ のX方向分力(横分力), Y方向分力(主分力)およびZ方向分力(背分力); X, YおよびZの各方向: 図1参照;  $A_1, A_3, A_5, A_7$ および  $A_9$ : 図4参照;  $D/b_c$ : 節の占有率( $D$ の  $b_c$ に対する比率);  $D$ : 節の直径

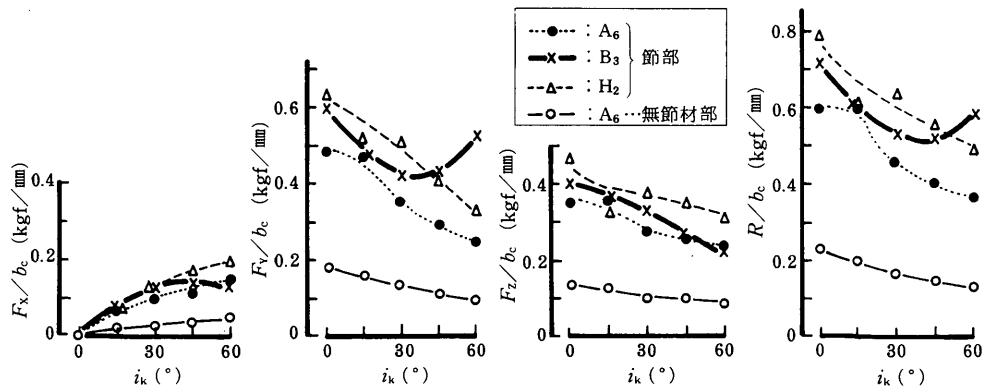


図7(b) 数種の角材で同程度の容積重をもつ丸小節の切削力測定例

—バイアス角  $i_k$  の変化に伴う節部の切削力の変動および無節材部の切削力の変動との比較—

$F_x/b_c, F_y/b_c, F_z/b_c$ および  $R/b_c$ : 図7(a)参照; 節部の  $A_6, B_3, H_2$ および無節材部の  $A_6$ : 図4および表4参照

力(横分力  $F_x/b_c$ , 主分力  $F_y/b_c$  および背分力  $F_z/b_c$ ) およびそれらの合力  $R/b_c$  を測定した。パイアス角  $i_k$  の設定の変化に伴う切削力の3分力 ( $F_x/b_c$ ,  $F_y/b_c$  および  $F_z/b_c$ ) および合力  $R/b_c$  の変化の例を, 図7(a)および図7(b)に示した。図7(a)は, スギAの場合であり, 同一角材に現れた丸小節の横断面(木口)切削のときの切削力の3分力や合力の変化を, 数個の試験片の場合について示したものである。図7(b)は, 異なった角材スギA, スギBおよびヒノキHに現れた丸小節の横断面(木口)切削のときの切削力の3分力や合力の変化を示したもので, 同図には, 節部の切削力の大きさととの比較を容易にするため, スギAにおける無節材部の切削のときの切削力の3分力や合力の測定結果をも示した。なお, 無節材における切削力は, 節を含んだ試験片による切削により測定されるが, その測定範囲には試験片における節の切削の前部と節の切削の後部の両測定範囲がある。両測定範囲から別々に測定される無節材部における切削力の測定値には, 有意な差(危険率0.05%)はなく, 同程度の大きさとみなし得たので, 図においては, それら両測定値の平均値によって無節材部の切削力を表すこととした(節の切削の前部と後部の無節材部を区別せずに, 両測定値の平均値を無節材部の切削力とした)。また, 後述の切削力比, 即ち無節材部における切削力に対する節部における切削力の比, 即ち無節材部における切削力に対する節部における切削力の比を算出する場合にも, 無節材部における切削力の値には節の切削の前部と切削の後部の測定範囲における切削力の測定値の平均値を用いて算出した。

図7(a)により, 同一材(スギAの場合)における節部の切削力の大きさと  $i_k$  の設定の変化に伴う節部の切削力の変化の傾向を読みとることができる。同一材中のいずれの節部の場合も切削力の変化は,  $i_k$  の設定の増加に伴い  $F_x/b_c$  の場合には増加傾向を示すが,  $F_y/b_c$ ,  $F_z/b_c$  および  $R/b_c$  の場合には減少傾向か, または減少と増加の両傾向( $i_k=45^\circ$  付近で最小値をとるミニマムカーブを描く傾向)のいずれかの傾向を示した。これら同一材における節は, 同程度の  $D$  の範囲,  $r'_d$  の範囲に入る節であり, 材質・形状は大雑把ながら同程度の節にふり分けをしたにも拘らず, それらの切削力の3分力や合力の変動は, いずれの分力や合力の場合も比較的著しかった。

一方, 異なった樹種間における節部の切削力の大きさと  $i_k$  の設定の変化に伴う切削力の変化の傾向は, 図7(b)により読みとることができる。同図より明らかなように, 樹種が異なった場合においても, 同一材(図7(a)のスギAの場合)と同様に, 切削力の大きさや  $i_k$  の設定の変化に伴う切削力の変化の傾向は, 樹種の異なった節の間においても同様の傾向を示した。しかも,  $i_k$  の設定の変化に伴う切削力の3分力や合力の変化の傾向は, 無節材部の切削力の3分力や合力の変化の傾向とよく類似した。節の切削面や切削方向に対する節の繊維走向を同一にし, しかも  $D$  と同じ大きさの被削材切削幅  $b$  をもつ試験片を用い,  $D=6.0\sim 12.5\text{ mm}$  で,  $r'_d=0.90\sim 1.15\text{ g/cm}^3$  の範囲に入る節に限定して切削を行った(節の材質・形状をある程度の範囲に入るものに制限した)が, 切削力の3分力や合力の変動は, この場合(図7(b))においても著しかった。節の切削力の大きさの変化には,  $D$  や  $r'_d$  以外の節の内的要因, 即ち本研究で述べた以外の節の物理的・化学的性質などが影響すると考えられる。

つぎに, 節部における切削力の大きさと無節材部における切削力の大きさの違いを明らかにするために, 同じ  $i_k$  の設定のもとで, 3分力および合力ごとに無節材部における切削力に対する節部の切削力の比を算出してみた。無節材部の切削力に対する節部の切削力の

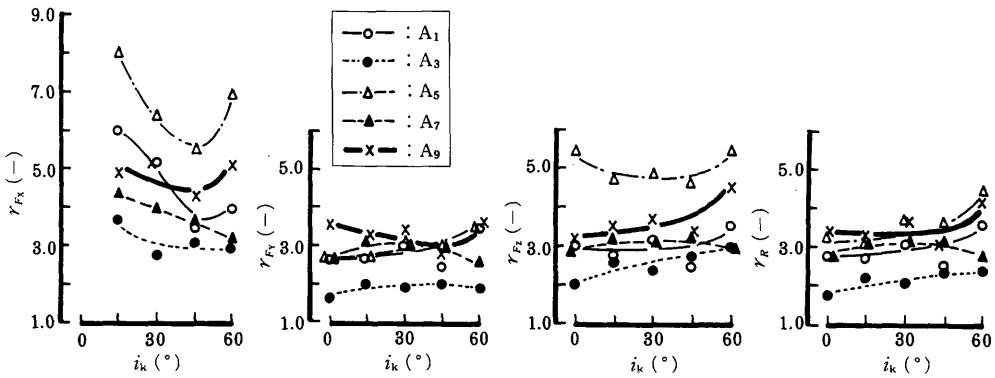


図 8 (a) 無節材部の切削力に対する節部の切削力の比 ( $r_{F_x}$ ,  $r_{F_y}$ ,  $r_{F_z}$  および  $r_R$ ) の変化  
—スギ同一角材内に現れる種々の丸小節の場合—

$r_{F_x}$ ,  $r_{F_y}$ ,  $r_{F_z}$  および  $r_R$ : 無節材部の切削力に対する節部の切削力の比で、切削力の分力および合力 ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  および  $R$ ) のそれぞれの場合について表す。無節材部における切削力の測定値は、節部の切削前の測定範囲からの値を使用した。A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>5</sub>, A<sub>7</sub> および A<sub>9</sub>: 図 4 および表 4 参照;  $i_k$ : パイアス角

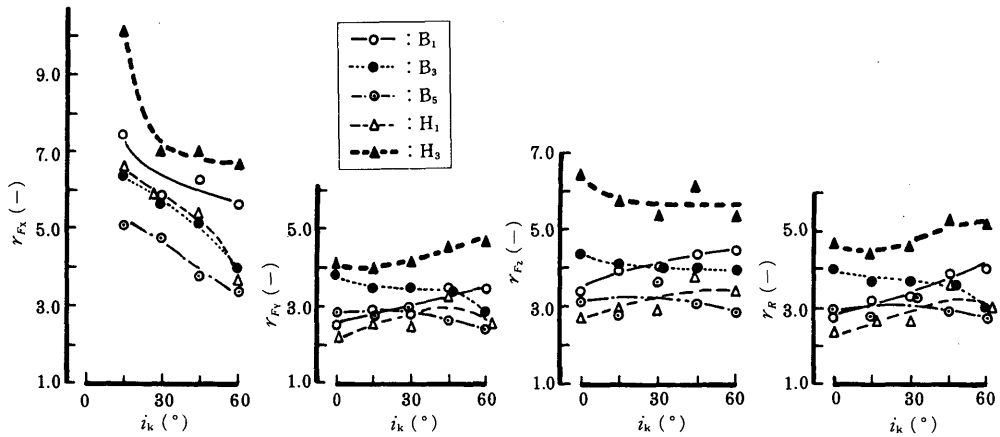


図 8 (b) 無節材部の切削力に対する節部の切削力の比 ( $r_{F_x}$ ,  $r_{F_y}$ ,  $r_{F_z}$  および  $r_R$ ) の変化  
—スギ角材 (スギ B) およびヒノキ角材における種々の丸小節の場合—

$r_{F_x}$ ,  $r_{F_y}$ ,  $r_{F_z}$  および  $r_R$ : 図 8 (a) 参照; B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, H<sub>1</sub> および H<sub>3</sub>: 図 4 参照,  $i_k$ : パイアス角

比を,  $F_x/b_c$  の場合には  $r_{F_x}$ ,  $F_y/b_c$  の場合には  $r_{F_y}$ ,  $F_z/b_c$  の場合には  $r_{F_z}$ , および  $R/b_c$  の場合には  $r_R$  とし, それらの切削力比の  $i_k$  の設定の変化に伴う変化の例を, 図 8 (a) および 図 8 (b) に示した。図 8 (a) は, スギ A の場合であり, 同一角材, 同一試験片に現れた丸小節の横断面 (木口) 切削のときの切削力の測定結果に基づいて算出した切削力比を, 数個の試験片の場合を例として示したものである。図 8 (b) は, 異なった角材スギ B, ヒノキ H に現れた丸小節の横断面 (木口) 切削のときの切削力の測定結果に基づいて算出した切削力比を, 数個の試験片の場合を例として示したものである。

図 8 (a) および 図 8 (b) より明らかなように, 無節材部における切削力に対する節部における切削力の比, 即ち切削力比  $r_{F_x}$ ,  $r_{F_y}$ ,  $r_{F_z}$  および  $r_R$  は,  $i_k$  の設定の増加に伴い比較的確

しい変化を示す場合 ( $r_{F_x}$ の場合) と比較的緩慢な変化を示す場合 ( $r_{F_y}$ ,  $r_{F_z}$  および  $r_R$  の場合) とがあった。とくに,  $r_{F_y}$ ,  $r_{F_z}$  および  $r_R$  の場合には,  $i_k$  の設定の増加に伴い緩やかな減少傾向を示す場合, 緩やかな増加傾向を示す場合, 緩やかなミニマムカーブを描く傾向を示す場合, ほぼ一定で変化のない傾向を示す場合, など種々の場合があった。それらの切削力比の大きさは3.0~4.0に集中しているが, 切削力比の変化はいずれの比の場合も1.0程度の小さな範囲内の変動であった。

切削力の合力  $R$  を用いて判断すれば, 節の横断面 (木口) 切削においては,  $i_k$  の設定を増加させても無節材部との比  $r_R$  は大きな変化を示さないことが判明した。また, 無節材部の容積重  $\rho_u$  に対して節部の容積重  $\rho'_u$  が3倍に増加しているにも拘らず, しかも切削方向に対する繊維走向が無節材部は繊維に平行な縦切削であるのに対して, 節部は繊維にほぼ垂直な横断面 (木口) 切削であるにも拘らず, 丸小節の横断面 (木口) 切削における切削力は, 無節材部の縦切削における切削力の3~4倍程度の増加であった。

なお,  $i_k$  の設定の増加に伴い節の占有率  $D/b_c$  が減少する。即ち, 節部の切削のかわりに, 節ばかまや無節材部の切削が加わる。節ばかまの切削は  $i_k$  の設定の増加によっても一定量で大きな変化がないから, 節部の占有率の低下により, 主として無節材部の切削が加わってくると考えられる (図5および図6参照)。このような  $i_k$  の設定の増加に伴う節の占有率の低下を考慮に入れて, 節部の切削力の3分力や合力の変化の傾向を考える必要がある。 $i_k$  の設定の増加に伴い, 切削力の3分力や合力の変化の傾向および切削力比の変化の傾向は, 図7(a)~図8(b)に示したそれらの変化の傾向よりも,  $i_k$  の設定の増加に伴うそれらの増加傾向や減少傾向が若干変化することが考えられるが, 切削力の3分力や合力の大きさや切削力比の大きさおよび  $i_k$  の設定の変化に伴うこれらの切削力や切削力比の変化の傾向は, 大きな変化を示さないと考えられる。

#### 4. 結 言

有節材の縦切削における節部と無節材部における切削性の違いを明らかにすることを目的として, スギ, ヒノキの二方桁木取りの角材を用いて, 裏金を装着した鉋刃による三次元縦切削実験を行った (図1, 図2, 表1~表3)。切削実験により節部と無節材部における切削力の大きさの違いやバイアス角  $i_k$  の設定の変化による切削力の変化などを明らかにし得るような節を含んだ特殊な形状の試験片を採取した (図4, 図5)。即ち, 上記の供試角材に包含される節のうち, 切削面 (板目面で木表側) に対し垂直の走向位置からおおよそ $-5^\circ$ ~ $-10^\circ$ で斜走している丸小節で (節は, 切削方向に対して逆目角度となる), 抜節以外の死節を選び, その直径  $D$  が6.0~12.5 mmの範囲に入る節を切削実験の対象とした (表4)。試験片の切削長さのほぼ中央に直径  $D$  の節が位置するような, しかも  $D$  と同じ被削材切削幅  $b$  となるような試験片を用い, その三次元縦切削 (節部については, 丸小節の三次元横断面 (木口) 切削) 実験を行った (図6)。節の容積重  $\rho'_u$  が0.90~1.15 g/cm<sup>3</sup>の範囲に入るような節を切削長さのほぼ中央にもつ試験片を作成し, それらを切削することにより, 節部と無節材部における切削力の3分力 (横分力  $F_x/b_c$ , 主分力  $F_y/b_c$  および背分力  $F_z/b_c$ ) および合力  $R/b_c$  の測定を行った ( $b_c$  は, 切れ刃線切削幅である)。

得られた基礎的知見は, つぎのように要約し得る。

(1) 節部の切削力の変化は、 $i_k$  の設定の増加に伴い、 $F_x/b_c$  の場合には増加傾向、 $F_y/b_c$ 、 $F_z/b_c$  および  $R/b_c$  の場合には減少傾向か、または減少と増加の両傾向 ( $i_k=45^\circ$  付近で最小値をとるミニマムカーブを描く傾向) を、それぞれ示した (図 7(a))。

(2) 節部における切削力の 3 分力 ( $F_x/b_c$ 、 $F_y/b_c$  および  $F_z/b_c$ ) および合力  $R/b_c$  は、いずれの場合も  $i_k$  の設定の変化に伴うそれら分力や合力の変化の傾向は、無節材部におけるそれら分力や合力の変化の傾向とよく類似した (図 7(b))。

(3) 同一樹種で、しかも同種類で同程度の直径  $D$ 、容積重  $r'_u$  をもつ節を用いての切削実験であるが、節の切削力の 3 分力や合力の変動は比較的著しかった (図 7(a) および 図 7(b))。

(4) 無節材部における切削力に対する節部における切削力の比、即ち切削力比 ( $F_x/b_c$  の場合を  $r_{F_x}$ 、 $F_y/b_c$  の場合を  $r_{F_y}$ 、 $F_z/b_c$  の場合を  $r_{F_z}$  および  $R/b_c$  の場合を  $r_R$  とする) は、 $i_k$  の設定の増加に伴い比較的著しい変化を示す場合 ( $r_{F_x}$  の場合) と比較的緩慢な変化を示す場合 ( $r_{F_y}$ 、 $r_{F_z}$  および  $r_R$  の場合) とがあった。とくに、 $r_{F_y}$ 、 $r_{F_z}$  および  $r_R$  の場合には、 $i_k$  の設定の増加に伴い緩やかな減少傾向を示す場合、緩やかな増加傾向を示す場合、緩やかなミニマムカーブを描く傾向を示す場合、ほぼ一定で変化のない傾向を示す場合、など種々の場合があった。いずれの傾向の場合にも、切削力比の大きさは 3.0~4.0 の範囲に集中しているが、切削力比の変化はいずれの傾向の場合も 1.0 程度の小さな変動の範囲内であった (図 8(a) および 図 8(b))。

(5)  $D$  が 6.0~12.5 mm の範囲に入り、 $r'_u$  が 0.90~1.15 g/cm<sup>3</sup> の範囲に入る節を限定し、 $D$  と同じ大きさの被削材切削幅  $b$  で切削した (節の材質・形状をある一定の範囲に入るよう制限した) にも拘らず、個々の節についての切削力の変動は著しかった (図 7~図 8)。

(6) 切削力の合力  $R/b_c$  の変化に基づき節の三次元切削を判断すると、 $i_k$  の設定を増加させても、無節材部に対する節部の切削力比  $r_R$  は大きな変化を示さないことが判明した (図 8(a) および 図 8(b))。

(7) 無節材部の容積重  $r_u$  に対して、節部の容積重  $r'_u$  が 3 倍に増加し、しかも切削方向に対する繊維走向が、無節材部の場合には繊維に平行な縦切削であるのに対して、節部の場合には繊維にほぼ垂直な横断面 (木口) 切削であるにも拘らず、丸小節の横断面 (木口) 切削における切削力は、無節材部の切削力の 3~4 倍程度の増加にすぎなかった (図 8(a) および 図 8(b))。

## 文 献

- 1) 杉山 滋：単板の引き切り三次元切削について，木材工業，**40** (12)，573~578 (1985)。
- 2) 杉山 滋：木材の Thick-Slicing におけるプレッシャバーの影響 —被削材の変形，工具切れ刃面に加わる切削抵抗およびプレッシャバー接触面に加わる圧縮力の変化—，長崎大学教育学部自然科学研究報告，No 32，145~167 (1981)。
- 3) 杉山 滋：木材の三次元縦切削における切削力と摩擦係数の変動，木材学会誌，**30** (10)，819~826 (1984)。
- 4) 杉山 滋：木材切削における被削材面に現れる節の切削に関する基礎的研究 (I) 節の切削面・切削方向に基づく節の切削の分類，長崎大学教育学部自然科学研究報告，No 45，79~94 (1991)。